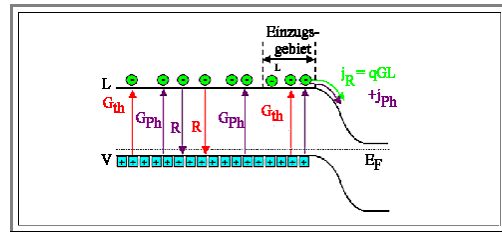


10.4 Zusammenfassungen zu Kapitel 10

10.4.1 Merkpunkte zu Kapitel 10: Bauelemente

Solarzellen sind großflächige Dioden = pn-Übergänge.

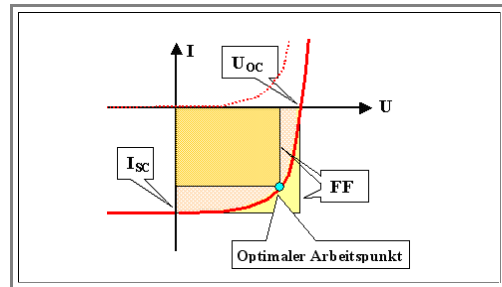
- Entscheidend ist die Erhöhung des Feldstroms unter Beleuchtung durch zusätzlich generierte Ladungsträger. $\Rightarrow$
- Die im Dunkeln vorliegende Kennlinie verschiebt sich um den Photostrom "nach unten".



$$j_F(\text{beleuchtet}) = j_F(\text{dunkel}) + j_F(\text{Licht})$$

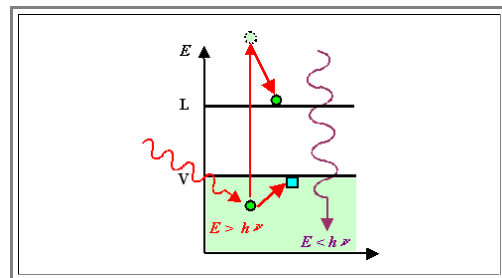
Wesentliche Solarzellenparameter sind:

- Leerlaufspannung** ("open circuit") U_{OC}
- Kurzschlussstrom** ("short circuit") I_{SC}
- Füllfaktor** **FF**
- Daraus ergibt sich der **optimale Arbeitspunkt** mit **$UI = \text{maximal}$** und der zugehörige **Wirkungsgrad** der vorliegende Solarzelle
 $\eta = (U_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF) / \text{Lichtleistung}$



Der maximale **theoretische** Wirkungsgrad ergibt sich aus einem Kompromiß:

- Kleine** Energielücke:
 - Auch infrarotes Sonnenlicht wird absorbiert und generiert Ladungsträger.
 - Die Differenz $h\nu - E_G$ erzeugt aber nur Wärme.
- Große** Energielücke:
 - Energereiches Licht (inkl. **UV**) wird gut genutzt.
 - (Infra-)Rotes Sonnenlicht wird nicht absorbiert. Die enthaltene Energie geht verloren.
- Das damit zu bestimmende **Optimum** der Energielücke ist um **$E_G = 1,4 \text{ eV}$** ; der erzielbare **maximale** theoretische Wirkungsgrad liegt bei **$\eta_{\text{max}} \approx 30 \%$** .



$$E_G^{\text{op}} \approx 1,4 \text{ eV}$$

$$\eta_{\text{max}} \approx 30 \%$$

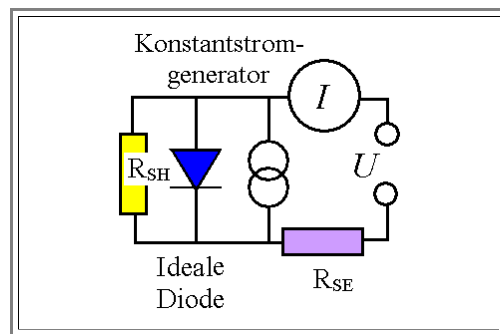
Wichtige (Zehner)zahlen:

- Diese Zahlen geben ein gutes Gefühl für die Möglichkeiten und Begrenzungen der Solarenergie.
- Merke: Arbeitsleistung 1 Sklave = **(3 - 5) m²** Solarzellen.
- Gesamtenergieverbrauch (Elektr., Heizung, Auto, ...) Deutscher $\approx$ **50.000 kWh/a $\approx$ (10 - 20) Sklaven**

Max. Sonnenleistung: S_p 1kW/m²
"Peak" Solar: $W_p = 1\text{kW/m}^2 \cdot 10\% = 100 \text{ W/m}^2$
Mittelwert Solar: $W_m = W_p \cdot 10\% = 10 \text{ W/m}^2$
Energie: $E_a = W_m \cdot 365 \cdot 24 = 100 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}^2$
Gesamt elektr. Bedarf Deutscher = 6.000 kWh/a
Platzbedarf Deutscher für Solarzellen = 50 m²

Reale Solarzellen werden per **Ersatzschaltbild** beschrieben.

- Kritisch sind insbesondere **Serienwiderstand** R_{SE} und **Parallelwiderstand** ("shunt") R_{SH}
- Serienwiderstände im $m\Omega$ sind bereits schädlich; das ergibt ein schwieriges technisches Problem.

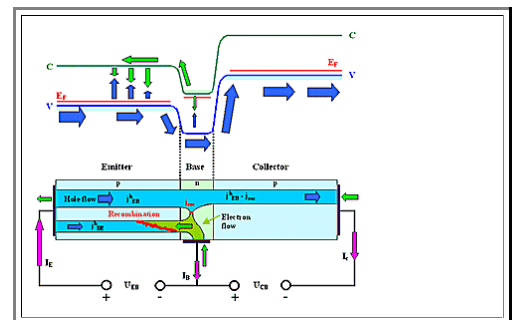


Technische Herausforderung für kostengünstige Fabrikation: $\Rightarrow$

**Produziere 1 m² pro Minute,
d. h. zwei Solarzellen mit
(15,6 × 15,6) cm² in drei Sekunden**

Wesentliche Punkte des **Bipolartransistors**:

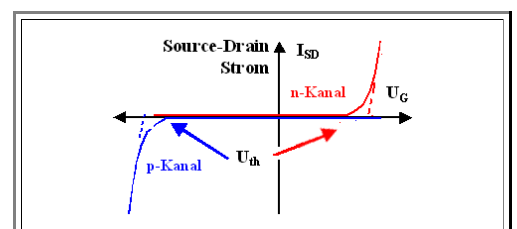
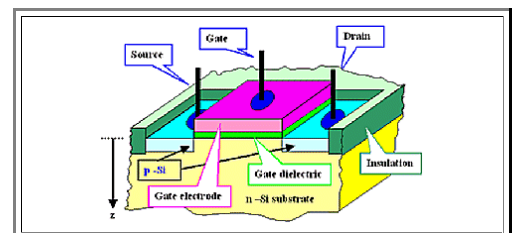
- Der Emitter - Kollektor Strom wird durch den Emitter-Basis Strom gesteuert. Immer **npn**- oder **pnp**-Struktur mit dünner Basis.
- Die Emitter-Basis-Diode ist in Durchlaßrichtung gepolt, die Basis-Kollektor-Diode in Sperrrichtung.
- Die in die Basis injizierten Majoritäten des Emitters durchwandern die Basis (deshalb $d_B \ll L$) und gewinnen viel Energie im starken Feld des Basis-Kollektor-Kontakts $\Rightarrow$ Leistungsverstärkung; aktives Bauelement!
- Die **Stromverstärkung** $\beta = I_C / I_B$ ist durch die Dotierung bestimmt:



$$\beta \approx \frac{N_{\text{Dot}}(E)}{N_{\text{Dot}}(B)} \left(1 - \frac{d_B}{L} \right) \approx \frac{N_{\text{Dot}}(E)}{N_{\text{Dot}}(B)}$$

Wesentliche Punkte des **MOS-Transistors**

- Der Source-Drain-Strom I_{SD} wird durch die Gate-Spannung U_G gesteuert. Grundstruktur: Metall (allg. Leiter) - Oxid (allg. Dielektrikum) - Semiconductor.
- Einer der beiden **pn**-Übergänge von Source oder Drain zum Substrat ist ohne passende Gatespannung immer gesperrt. $\Rightarrow I_{SD} \approx 0 \text{ A}$ für $U_G = 0 \text{ V}$
- Gatespannungen mit derselben Polarität wie die Majoritäten unter dem Gate treibt die Majoritäten elektrostatisch "nach unten", d. h. sie verringern n_{Maj}
- Massenwirkungsgesetz: $n_{\text{Maj}} \downarrow \Rightarrow n_{\text{Min}} \uparrow$. Bei $U_G > U_{\text{thr}}$ wird **Inversion** erreicht; danach hat das Gebiet unter dem Gate dieselbe Art Majoritätsträger wie Source und Drain.
- Zwischen Source und Drain existiert jetzt ein leitender Kanal; Strom kann fließen.
- Entscheidend für die Funktion ist die Gate-Substrat-Kapazität und damit das Gate- **Dielektrikum**.



Merke: $\Rightarrow$

**Halbleiter und
Halbleitertechnologie
sind im Zentrum moderner
Technik.**